

## 特集②

実大三次元震動破壊実験施設  
(E・ディフェンス)について

総括ユニット 菅沼 克敏



## 1. はじめに

平成7年1月の阪神・淡路大震災では、これまで想定されていた地震では壊れないと考えられていた鉄筋コンクリートビルや高速道路の橋梁など多くの構造物が破壊した。

平成7年11月には当時の科学技術庁が「地震防災研究基盤の検討に関する懇談会」を設置し、平成8年5月に「都市部を中心とす

る地震災害の軽減を目指す総合的な研究」を実施するために新しい研究拠点を設け、そこに大型の三次元震動実験施設を整備することが提言された。

ここでは、平成12年3月に着工し、阪神・淡路大震災から10年となる平成17年の完成を目指して独立行政法人防災科学技術研究所が兵庫県三木市の（仮称）三

木震災記念公園の中に建設中の世界最大の実大三次元震動破壊実験施設（E・ディフェンス）の概要や実験計画などを紹介するとともに、今後の展望を述べる。

なお、EarthのEを頭文字にしたE・ディフェンスは公募によってつけられた愛称である。

## 2. 阪神・淡路大震災について

阪神・淡路大震災では、6,400名以上の犠牲者と経済的被害は12兆円にのぼった。

現在予想される東海地震が発生した場合には37兆円の被害が想定されている。

関東大震災以降、犠牲者の多くは火災によるものと思われてきたが、阪神・淡路大震災の犠牲者は建物倒壊による窒息死、圧死が8割以上を占めている。

地震による建物などの壊れ方（なぜ、どのように、どこまで壊れるか）を明らかにし、さらに倒壊、崩壊を防ぐ補強法など、安心・安全な社会の構築にむけた新技術の開発や検証が必要となった。

現在の建物の建築基準法施行令は、昭和53年に発生した宮城県沖地震の後の昭和56年に新耐震設計法を導入する改正が行われたもので、これまで大地震の後に設

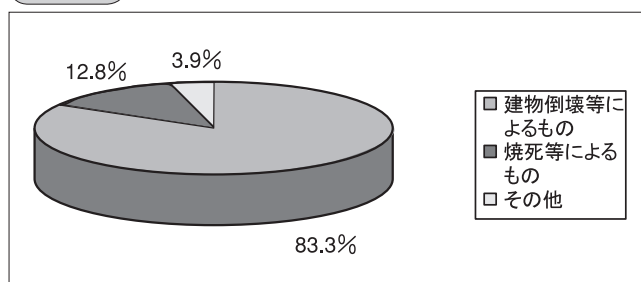
計震度や耐震基準の改正が繰り返されてきた。

阪神・淡路大震災では、3,800余りの学校施設が被害を受けたが、新耐震設計法（昭和56年）以前に建築された建物の被害が大きく、新耐震設計法以前に建築された建物の耐震化を推進していくことの必要性が強く指摘された。

我が国の地震対策の現状を把握・分析するため、平成13年度末現在における地震防災施設等の整備の現状に関する調査を内閣府において全国で初めて一斉に実施し、最終報告が平成15年1月にとりまとめられた。

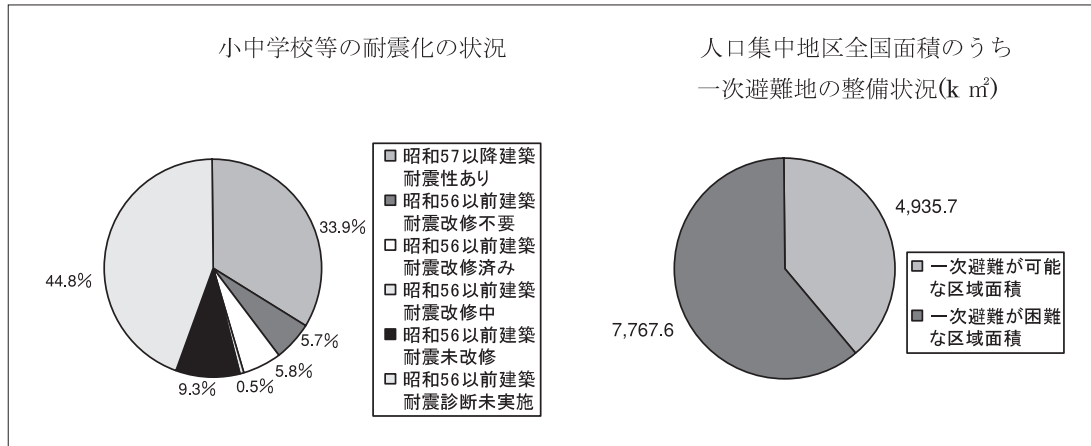
小中学校等151,624棟における耐震化率は46%となっており、人命に関わる建築物の耐震化や避難地・避難路の整備などの対策が急務となっている。

図表1 阪神・淡路大震災の犠牲者の内訳



出典：「神戸市内における検死統計」（平成7年 兵庫県監察医）より内閣府作成

図表 2 地震防災施設等の整備の現状に関する全国調査



### 3. 大都市大震災軽減化特別プロジェクトについて

文部科学省では「ライフサイエンス」、「情報通信」、「環境」、「ナノテクノロジー・材料」の重点4分野に「防災」を加えた5分野について、あらかじめ課題等を設定し、実施する機関を選定して研究開発を委託する事業を平成14(2002)年度から開始している。これらの委託事業を「新世紀重点研究創生プラン～リサーチ・レポリューション・2002(RR2002)～」

と総称している。

このうち、「防災」分野のRR2002委託事業が「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」(2002～2007年、総額150億円)である。「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」は、以下の4つのプログラムから構成されている。

①地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」

②耐震性の飛躍的向上「震動台活用による耐震性向上研究」

③被災者救助等の災害対応戦略の最適化「災害対応戦略研究」

④地震防災対策への反映

このうち、②について実大三次元震動破壊実験施設を活用して、耐震性向上およびシミュレーション技術の検証に貢献することを目指している。

### 4. 実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)について

#### 4-1

#### 目的

阪神・淡路大震災では、被害を受けない構造物を設計することは不可能であることがわかった。地震による壊滅的な被害を避け、ある程度の被害は避けられないにしても人命だけは守れるように、建物などの壊れる過程(なぜ、どのように、どこまで壊れるか)を明確にする必要がある。

そのためには、震動台上で実物大の構造物を実際の地震と同じ三次元で震動させ、破壊過程を記録・分析し、構造物の耐震性向上を図ることが、E-ディフェンスの目的である。

#### 4-2

#### 施設の概要

E-ディフェンスは、敷地面積6ha、総工費約450億円を投じた世界最大の三次元震動台で、次のような配置となっている。

#### 4-3

#### 施設の特徴

世界最大のE-ディフェンスは、次のような特徴を持っている。

①震動台の大きさは20m×15mで、1,200tonまでの試験体の実験が可能。

既存の三次元震動実験装置

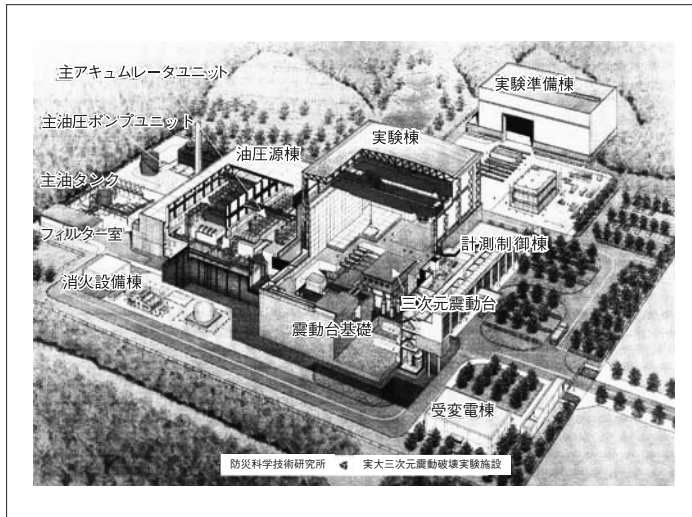
は、世界に30台近くあるといわれているが、50tonの試験体が載せられる小型ないしは中型のものがほとんどである。

4階建て鉄筋コンクリートマンションや高速道路の橋脚も載せることができ、構造物の破壊実験や耐震補強技術の確認実験が行える。

②実際の地震動と同じ3次元の運動を再現。

水平方向のX軸とY軸に5本ずつ、垂直方向のZ軸に14本の加振機を配備し、各軸の干渉を避けるためにフレキシブルな三次元継手とすることにより、世界最高の性能を持つ世界最大の実大三次元震動破壊実験施設である。

図表3 E・ディフェンスの配置図



棟名	概要	構造	延べ面積 建物高
実験棟	三次元震動破壊実験施設の主要部分、試験体を組立・解体用の400tクレーン2基設置	鉄骨造 平屋建	約5,200m <sup>2</sup> 43m
計測 制御棟	実験計測装置や一括集中運転できる三次元震動台の制御システム装置を設置	RC造 2階建	約1,300m <sup>2</sup> 11m
油圧源棟	三次元震動台の動力となる油圧ポンプ、アキュムレーターやガスエンジンを設置	鉄骨造 2階建	約4,700m <sup>2</sup> 21m
実験 準備棟	実験試験体を準備する施設で、試験体を組み立てるため150tクレーンを設置	鉄骨造 平屋建	約2,200m <sup>2</sup> 29m

図表4 国内の主要な震動台の仕様

機関名（場所）	最大搭載 重量 (tonf)	搭載面積 (m × m)	加振方向	最大加速度 (G)	最大速度 (cm/s)	最大変位 (cm)	完成年
実大三次元震動破壊実験施設 (兵庫県三木市)	1200	20 × 15	三次元 (X,Y,Z)	水平 0.9 鉛直 1.5	水平 200 鉛直 70	水平 100 鉛直 50	2005 年 完成予定
財原子力発電技術機構 多度津工学試験所 (香川県多度津町)	1000	15 × 15	二次元 (X,Y)	水平 1.84 鉛直 0.92	水平 75.0 鉛直 37.5	水平 20 鉛直 10	1982 年
㈦ 防災科学技術研究所 (茨城県つくば市)	500	15 × 14.5	一次元 (X)	水平 0.5	水平 75	水平 22	1970 年完成 1988 年更新
㈦ 土木研究所 (茨城県つくば市)	300	8 × 8	三次元 (X,Y,Z)	水平 2.0 鉛直 1.0	水平 200 鉛直 100	水平 60 鉛直 30	1997 年

出典：独立行政法人 防災科学技術研究所

③世界中で観測されたほとんど全ての地震記録による実験が可能。兵庫県南部地震や、そのちょうど1年前にロサンゼルス近郊で起きたノースリッジ地震の地震動も再現可能で、その破壊過程を追跡することができる。

1995年兵庫県南部地震は最大速度：水平138cm/s、最大変位：水平42cmであった。

構造物の損傷や破壊の発生には、最大加速度が大きく影響するが、破壊が進んで最終崩壊に至るには最大速度、最大変位が大きな役割を果たす。

このため油圧源棟には、4台のガスエンジンで駆動される油圧ポンプと20台のアキュムレータ（蓄圧器）が配備され、電気油圧サーボシステムに入力信号に忠実な振動を発生させるため制御方式の研

究開発を行ってきた。現在、震動台での確認実験が行われている。

試験体と震動台あわせて2,000ton近くの重量を最大変位±100cmで加振させるためには、加振機と三次元継手を合わせた水平加振機は約16mの長さとなる。

実際の加振機による模擬震動台を使った要素技術開発で、加振機の最大変位・最大速度などの性能が確認されている。

#### 4-4

### 利用研究課題

耐震性の向上が必要な構造物は、建築・土木・機械など多種多様に及ぶ。

阪神・淡路大震災では、これまで地震では壊れないと考えられていた鉄筋コンクリートビルや高速道路の橋梁など多くの構造物が破

壊し、大きな被害が発生した。

また、犠牲者の大半は火災ではなく耐震補強の遅れた木造住宅に起因するものであった。

40年前の新潟地震で現象が確認された液状化により、道路、堤防、下水道等において被害が生じた。我が国の大都市の多くは沖積平野に位置し、液状化の危険性がある。

2003年十勝沖地震では、地震によるタンクの損傷に加え、スロッシング（液面揺動）や長周期の地震動による火災事故も発生している。

次の構造物の破壊過程と耐震技術を実大規模で三次元の震動で検証することができる。

- ①鉄筋コンクリート建物の地震時破壊過程を再現し、被害を評価する。
- ②橋梁の地震時破壊過程を再現



し、新しい補強技術を開発・検証する。

- ③危険物貯蔵タンク等の産業施設の地震時挙動を再現し、耐震性を検証する。
- ④特殊な箱の中に作った地盤モデルを使って液状化を再現し、被害を評価する。
- ⑤各種の木造住宅の、地盤、基礎、室内家具、設備機器を含めた震動実験により、居住環境の総合的な安全性の検討や新しい耐震技術の開発に役立てる。

#### 4 - 5

### 実施計画（5ヶ年）

E - ディフェンスは、24 本の加振機の動作テストが終わり、5 月には 750ton ある震動台を 400ton クレーン 2 基で吊り上げピットに据付が完了した。継手および加振機との結合が終わり、来春の完成を目指して 7 月から試験運転・調整に入っている状況である。

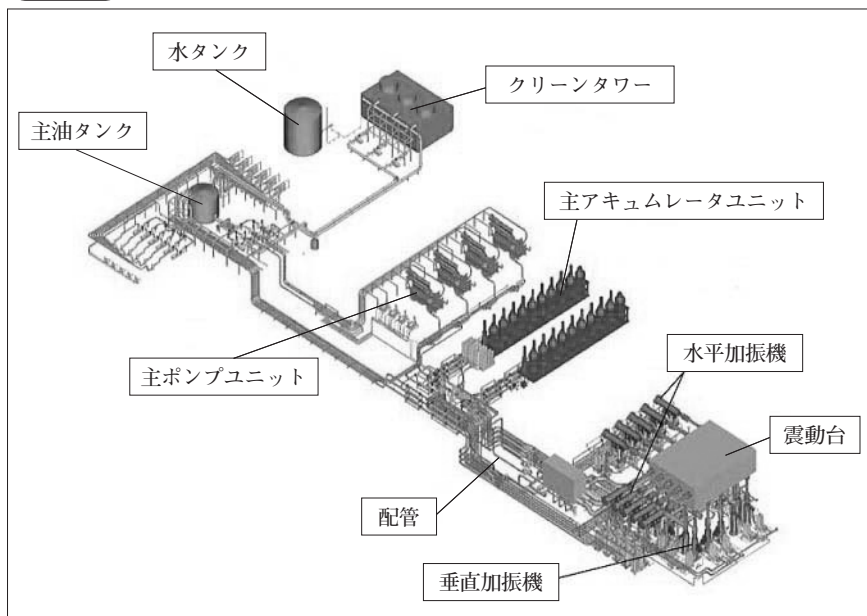
平成 17 年度からの 2 年間は「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の実験が予定されており、鉄筋ビル、木造住宅、基礎地盤の耐震実験が行われることとなっている。

平成 17 年度の E - ディフェンスによる実大規模実験開始にむけて、平成 14 年度からは既存の振動台実験による準備研究が行われている。

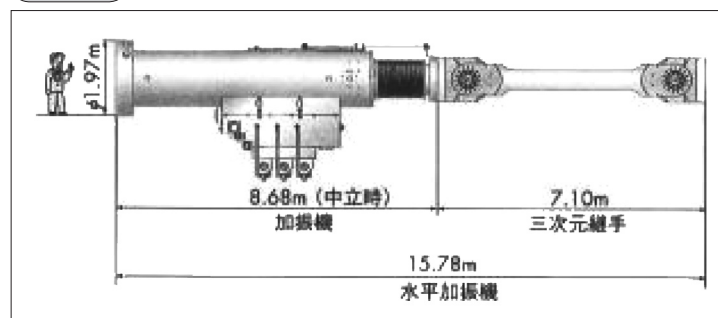
#### ①鉄筋コンクリート建物実験

- 大型振動台で鉄筋コンクリートビルの 3 分の 1 縮小モデルの破壊実験（平成 15 年 12 月）
- 組立解体自在の新構法による 4 階建てビル（1/2）モデルの耐震性能確認実験（平成 16 年 2 月）
- 耐震壁フレーム構造の動的破壊メカニズムの解明実験（平成 16

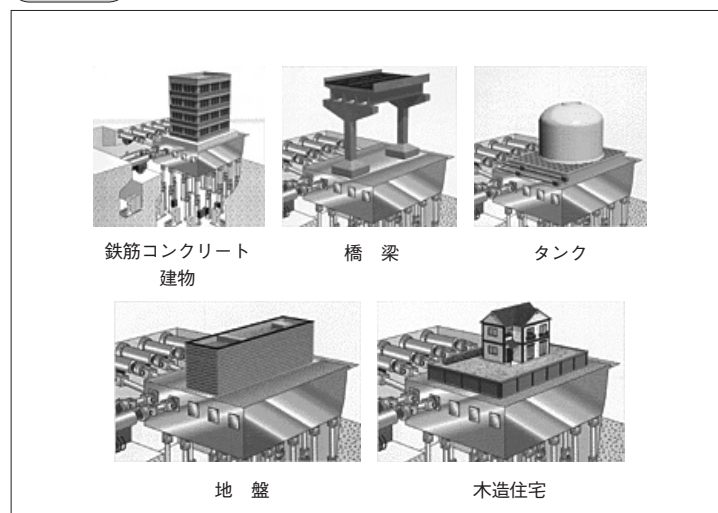
図表 5 震動台加振システムの図



図表 6 水平加振機の図



図表 7 破壊過程と耐震技術を検証できる構造物の図



年 9 月予定)

#### ②地盤・基礎実験

- 斜面せん断土槽による地盤の液状化、側方流動実験（平成 16 年 7 月）

#### ③木造建物実験

- 振動台による木造建物の倒壊実験（平成 15 年 3 月）
- 木造 2 階建て住宅の倒壊実験（平成 16 年 3 月）

これまで構造物の耐震設計や設計基準は、地震のたびごとに改定・改正を繰り返してきた。

既存の振動台実験結果から得られた知見をもとに、建物や土木構造物基礎の設計法やコンピュータシミュレーションプログラムの開発などに反映され、E・ディフェンスで予定している破壊実験に活用されるとともに、地震時の予測に役立てる計画である。

構造物の破壊から崩壊に至る過程をコンピュータシミュレーションで推定することは不可能であり、地震から人命を守るために完全に壊れてしまわない構造物の設計あるいは補強方法を確立していくためには、震動台上で実物大の構造物を三次元で震動させ、破壊過程を記録・分析していく必要がある。

#### 4 - 6

### E・ディフェンスの利用形態

E・ディフェンスは、独立行政法人等研究機関が所有し、外部の機関が利用可能な既存の大型研究施設・設備と同様な利用形態が予定されている。

利用形態としては、自体研究、共同研究、受託研究の3種類がある。共同研究は、国内・海外の研究機関が防災科学技術研究所と共同で行うもので、利用料は1/2ずつ負担する。受託研究は委託機関が全て負担することとなる。

今後、震動台運転費や維持管理費等の必要経費に基づく利用料を設定する予定である。

利用の申込は、防災科学技術研究所のホームページで募集したものを、「E・ディフェンス利用委員会」の審議を経て、利用の可否と利用期間を決定する。

現在の5ヶ年計画が終わる平成19年度からの外部利用開始にむけて、平成18年度には利用募集を行う予定となっている。

図表8 大都市大震災軽減化特別プロジェクト

	平成14年度～16年度	平成17年度～18年度
鉄筋コンクリート建物実験	準備研究 1. 既存の振動台による破壊メカニズムの解明 2. 数値シミュレーションシステムの開発 3. 実大実験計画の策定	実大規模破壊実験 平成17年度 新旧設計指針の比較 平成18年度 耐震補強
地盤・基礎実験	準備研究 1. 地盤－杭基礎の耐震性 2. 側方流動の耐震性 3. 三次元挙動評価 4. 実験計画と施設整備	杭基礎の地震時破壊実験 液状化地盤と非液状化 杭基礎の破壊メカニズム解明 護岸の側方流動実験 設計方法の確立
木造建物実験	準備研究 1. 地震応答観測 2. 数値シミュレーション 3. 倒壊実験 4. 構造要素試験と強度調査	耐震強度把握と耐震補強の効果の検証 ●築30年程度の現存住宅 ●町屋（伝統工法） ●商店群・大型店舗

#### 4 - 7

### 運営体制と国際協力

E・ディフェンスと同じく我が国が唯一あるいは世界最高性能といえる大型放射光施設（SPring-8）や地球シミュレータなどの施設の利用に関して、6月に実施した科学技術専門家ネットワークによるアンケート調査では、広く開放するなど、その機能を最大限に活用していくために①施設に関する情報発信、②利用しやすい体制の整備、③サポート体制の充実、④成果の保護、などの意見が寄せられた。

既に防災科学技術研究所のホームページには、E・ディフェンスの概要や工事の進捗状況などが公開されていて、今後は実験データや実験研究報告書などの成果の情報公開も予定されている。外部の研究機関が利用可能なさらなる環境整備を行い、E・ディフェンスによる構造物の耐震性の飛躍的な向上が期待される。

E・ディフェンスは国内はもとより、海外にも広く門戸を開いた「国際的な共同施設」としての運営が計画されている。また、広く国の内外の研究者の協力を得て、新しい実験研究等を促進・支援する。

平成14年度には運営協議会と

利用委員会が設立され、防災科学研究所では運用開始までには現地に耐震工学研究センター（仮称）を設置し、震動台活用による構造物の耐震性向上研究を行うとともに、施設の運営管理を行う予定である。

### (1)実大三次元震動破壊実験施設運営協議会

E・ディフェンスの運営に関し、産官学機関を代表する18名の委員から、助言、指導を得ることを目的として設置された。

- ①E・ディフェンスの運営に関する事項
- ②E・ディフェンスの活用促進および中長期の活用計画に関する事項 など

### (2)実大三次元震動破壊実験施設利用委員会

E・ディフェンスの利用に関し、19名の学識経験者による委員から、実験計画の策定、関係機関間の調整等を行うことを目的として設置された。

- ①E・ディフェンスを利用した実験計画に関する事項
- ②実大破壊実験の準備研究に関する事項 など

### (3) 震動台を利用した日米共同の 地震防災研究に関する協議

日本側は文部科学省、独立行政法人防災科学技術研究所、米国側は NSF（米国科学財団）、NEES コンソーシアム（「ネットワークによる地震工学研究」(The

Gorge E. Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation = NEES 計画) の 4 者で組織され、E - ディフェンスによる実規模実験をコンピューターシミュレーションの結果で検証するなど、地震防災研究を大きく飛

躍させる研究のあり方などを話し合う。本年 4 月には、コンピューターシミュレーションによる研究と E - ディフェンスによる実大規模実験の統合による耐震研究の新しい方向性を探ることが基本合意された。

## 5. おわりに

災害に対してハード面で完全に防ぐことは出来ないが、壊滅的な被害とならないように災害をできるだけ小さくしようという「減災」が提唱されている。

地震に対しても、コンクリートや鉄筋などの性能向上によって、壊れない構造物をつくることは技術的には可能かもしれないが、全ての構造物を破壊させないように設計し、つくりかえることは不可能であり、地震動強さのレベルに応じた許容被害を明確に規

定する性能設計が世界の趨勢となっている。

地震による壊滅的な被害を避け、ある程度の被害は避けられないにしても人命だけは守るために、建物などの壊れる過程（なぜ、どのように、どこまで壊れるか）を明確にする必要がある。震動台上で実物大の構造物の破壊を実現し、壊滅的な被害とならないような構造物を設計することが、E - ディフェンスに期待されている役割である。

### 参考文献

- 1) 内閣府：防災白書
- 2) 消防庁：消防白書
- 3) 独立行政法人防災科学技術研究所：震動台活用による構造物の耐震性向上研究
- 4) 科学技術政策研究所：調査資料 - 106「大型研究施設・設備の現状と今後の課題～科学技術専門家ネットワークアンケート調査結果～」

.....